

# OpenTSN3.0 树型拓扑组网演示系统 使用手册 (版本 1.0)

OpenTSN

OpenTSN 开源项目组

2021 年 4 月



## 目录

1.	概述.....	5
2.	组网环境组成.....	5
2.1.	TSN 组网环境拓扑.....	5
2.2.	组网设备配置.....	6
2.3.	组网主要板卡说明.....	7
2.3.1.	硬件板卡.....	7
2.3.2.	TSN 测试仪.....	8
2.4.	集中式控制器软件说明.....	9
3.	硬件逻辑代码固化.....	9
4.	演示案例.....	10
4.1.	时间同步精度测试.....	11
4.1.1.	预期结果.....	11
4.1.2.	参数配置.....	11
4.1.3.	操作步骤.....	13
4.1.4.	测试结果.....	13
4.2.	时间敏感流量的确定性传输测试.....	14
4.2.1.	预期结果.....	14
4.2.2.	参数配置.....	14
4.2.3.	操作步骤.....	16
4.2.4.	测试结果.....	17
4.3.	摄像头视频流量点到多点的传输测试.....	17
4.3.1.	预期结果.....	17
4.3.2.	参数配置.....	17
4.3.3.	操作步骤.....	18
4.3.4.	测试结果.....	19
4.4.	4.4. VLC 视频流量多点到点的传输测试.....	19

4.4.1. 预期结果.....	19
4.4.2. 参数配置.....	20
4.4.3. 操作步骤.....	21
4.4.4. 测试结果.....	21

OpenTSN

## 1. 概述

为简化硬件逻辑的复杂度和增强功能可扩展性，将 OpenTSN2.0（即可作为端，又可作为交换）逻辑拆分为 TSN 交换机和 TSN 网卡两个独立的硬件逻辑，本文通过简单树型组网测试来演示 TSN 网卡和 TSN 交换机逻辑功能的准确性。

## 2. 组网环境组成

### 2.1. TSN 组网环境拓扑

2 个 TSN 交换机和 3 个 TSN 网卡搭建如图 2-1 所示的演示环境拓扑，实线均为网线连接，图中箭头指向即为信号流向。图中包含三个流量测试通路，分别是 vlc 流量通路、摄像头实时监控视频流量通路以及混合流量通路。

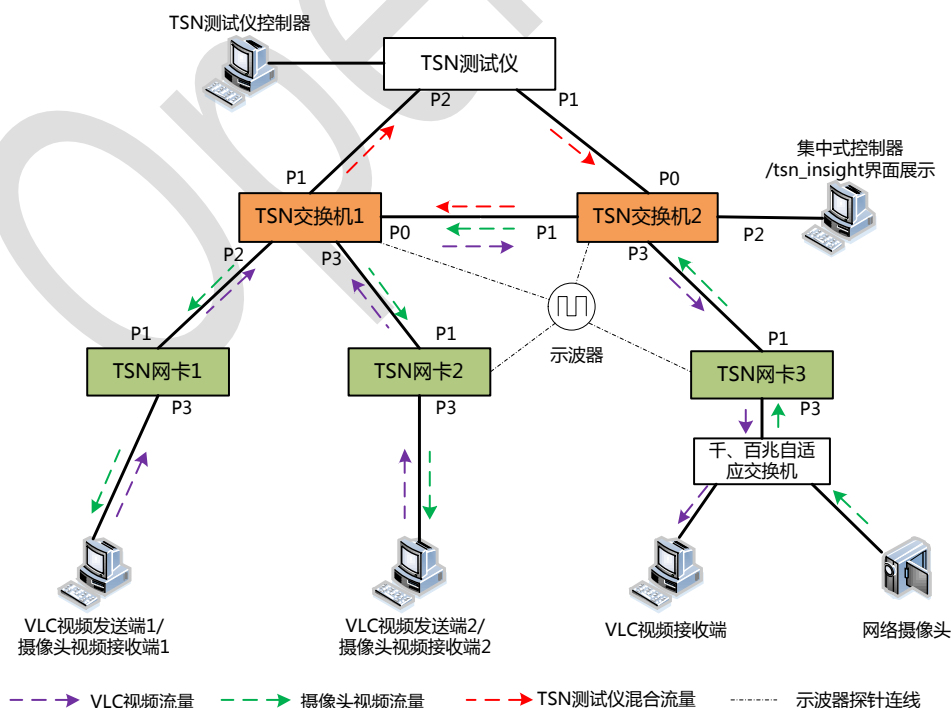


图 2-1 组网拓扑

## 2.2. 组网设备配置

组网中各设备的信息如下表 2-1 所示。

表 2-1 设备配置

序号	设备名称	配置信息	备注
1	TSN 交换机	2 个，搭载了 OpenTSN3.0 的交换机逻辑	用于 TSN 网络中流量的交换
2	TSN 网卡	3 个，搭载了 OpenTSN3.0 的网卡逻辑	用于 TSN 网络中流量的映射、重映射、提交、注入等
3	VLC 流量发送端 1/摄像头视频接收端 1	1) 经网卡 1 连接在 TSN 交换机 1 的 P2 口； 2) 安装 VLC 播放软件以及摄像头视频流量接收客户端； 3) IP:192.168.1.62 4) MAC:C0 04 80 00 00 00。	用于 VLC 流量和摄像头视频流量的测试
4	VLC 流量发送端 2/摄像头视频接收端 2	1) 经网卡 2 连接在 TSN 交换机 1 的 P3 口； 2) 安装 VLC 播放软件以及摄像头视频流量接收客户端； 3) IP:192.168.1.68 4) MAC:C0 04 80 00 00 00。	用于 VLC 流量和摄像头视频流量的测试
5	网络摄像头	1) 经网卡 3 连接在 TSN 交换机 2 的 P3 口； 2) IP:192.168.1.64 3) MAC:BC BA C2 F3 F7 08。	用于摄像头视频流量的发送
6	VLC 流量接收端	1) 经网卡 3 连接在 TSN 交换机 2 的 P4 口； 2) 安装 VLC 播放软件； 3) IP:192.168.1.66； 4) MAC:E8 6A 64 C4 96 FF。	用于接收 VLC 流量
7	集中控制器	1) 直连在 TSN 交换机 2 的 P2 口； 2) ubuntu 操作系统，安装了 libpcap 和 libnet 库； 3) 包含可执行 CNC 集中式控制器软件； 4) IP:192.168.1.55，与 192.168.1.1 同网段。	用于网络配置
8	TSN 测试仪控制器	1) 控制终端 ip: 与 192.168.1.1 同网段； 2) 虚拟机 ubuntu； 3) 虚拟机 ip 地址配置为：192.168.1.30。	用于控制 TSN 测试仪

序号	设备名称	配置信息	备注
9	TSN 测试仪	1) ST/RC/BE 流的发送与接收; 2) 包含可执行的 TSN 测试仪软件; 3) 与 TSN 测试仪控制器连接要经过交换机。	用于 ST、RC、BE、流量的发送及接收,并统计时延抖动等信息

## 2.3. 组网主要板卡说明

### 2.3.1. 硬件板卡

板卡的实物如下图 2-2 和图 2-3 所示,板卡尺寸为:100mm\* 80mm。

板卡内部根据固化的逻辑代码不同,实现的功能也不同。

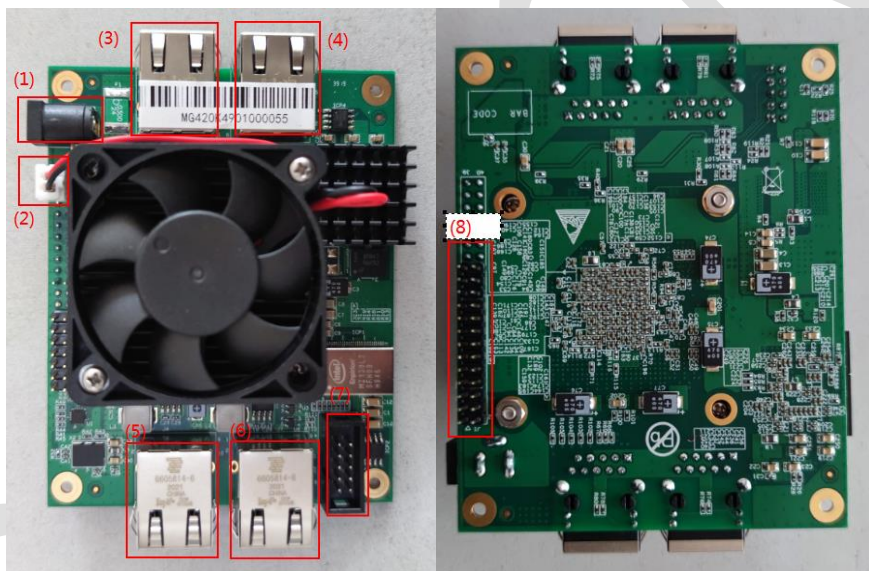


图 2-2 板卡正反面



图 2-3 板卡侧面

图 2-2 与图 2-3 中标注 (1)-(8)的接口，说明如表 2-2。

表 2-2 板卡接口说明

编号	接口说明
1	12V 电源插座。注意此插座不能与底板上面的 12V 插座同时插上。
2	12V 风扇插座，有防呆设计。
3	千兆电口 3
4	千兆电口 2
5	千兆电口 0
6	千兆电口 1
7	JTAG 插座，有防呆设计。可用于 JTAG 边扫调试及 AS Flash 烧录。
8	2.54mm 网格插针

### 2.3.2. TSN 测试仪

如下图 2-4 所示，测试仪正面有 4 个数据网口（0、1、2、3）、1 个管理网口（MGMT）、1 个复位按钮（RST）以及 4 个 led 灯，根据 TF 卡内存放的软件达到相应的功能，其中 1 口为发送端，2 口为接收端。

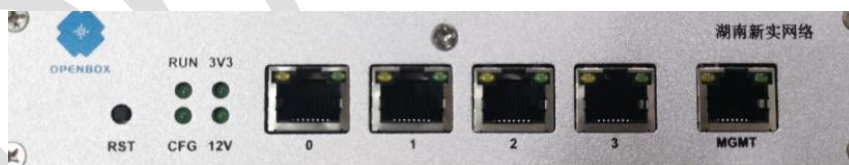


图 2-4 TSN 测试仪正面

测试仪背面有 JTAG 接口、USB 接口、COM 串口、开关和电源接口。



图 2-5 TSN 测试仪背面



## 2.4. 集中式控制器软件说明

网络控制器包含的源文件如图 2-6 所示，arp 文件夹下存放的是 arp 应用，cnc\_api 文件下存放通用基础库，cnc\_ptp 文件下存放 PTP 时间同步应用，net\_init 存放网络初始化应用，state\_monitor 文件夹存放状态监测应用,软件详细使用说明见《网络控制器软件使用手册》文档。



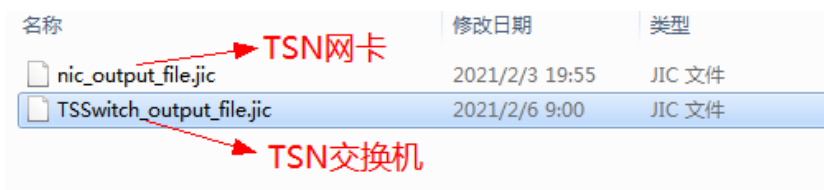
名称	修改日期	类型
arp	2020/12/19 星期...	文件夹
cnc_api	2020/12/19 星期...	文件夹
cnc_ptp	2020/12/22 星期...	文件夹
net_init	2020/12/19 星期...	文件夹
state_monitor	2020/12/19 星期...	文件夹

图 2-6 集中式控制软件

## 3. 硬件逻辑代码固化

TSN 工程固化逻辑代码的具体操作步骤如下：

- 1) 建立好工程并编译完成后，生产固化文件，如图 3-1。
- 2) 点击 tools->programmer->add files，添加编译完成的.jic 文件（固化 TSN 网卡逻辑选择 nic\_output\_file.jic 文件，固化 TSN 交换机逻辑选择 TSSwitch\_output\_file.jic 文件）。
- 3) 选择烧录线的 USB 串口，并选择 JTAG 模式烧录，点击 start 开始烧录 TSN 工程。如下图 3-2 所示。



名称	修改日期	类型
nic_output_file.jic	2021/2/3 19:55	JIC 文件
TSSwitch_output_file.jic	2021/2/6 9:00	JIC 文件

图 3-1 jic 文件

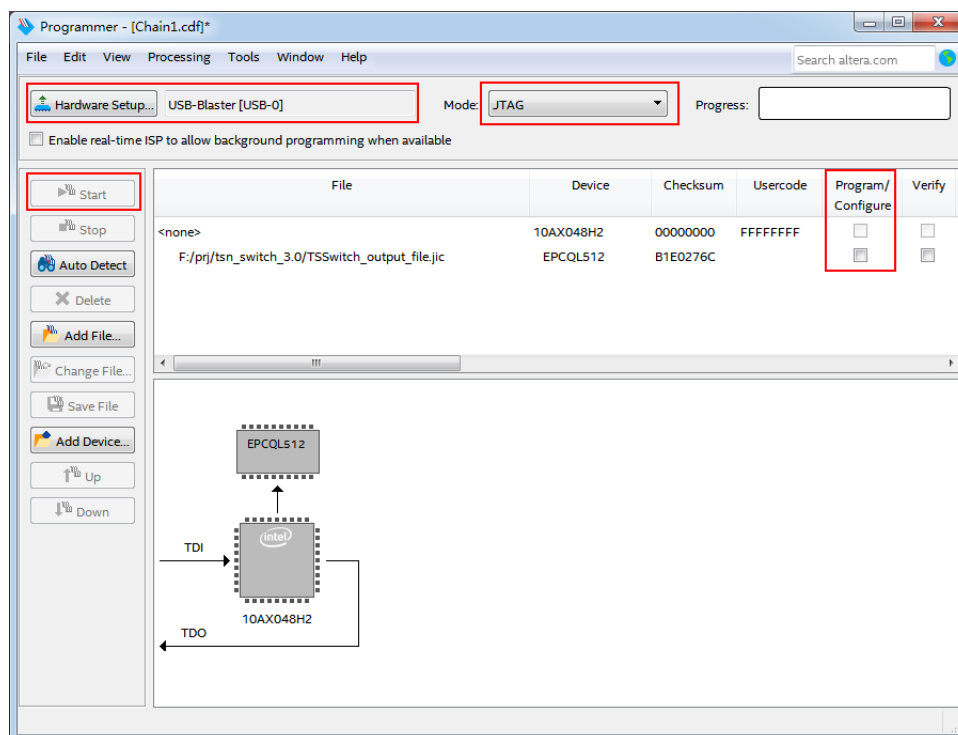


图 3-2 固化逻辑代码

#### 4. 演示案例

按照图 2-1 测试场景搭建好 TSN 组网拓扑环境,按照图 4-1 中配置的表项进行交换机和网卡的初始配置,“imac=“2”、“3””配置的是 TSN 交换机 2,其余“imac=“1”、“4”、“5”配置的均为网卡。

```

1  <?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
2  <nodes sync_period="100" master_imac="0" sync_flowid="4096">
3  <!-- sync_period表示时间同步周期, 单位为ms, master_imac表示主设备的imac地址, sync_flowid
4
5  <node imac="2" port_mode="0"> <!-- port_mode使用bitmap的形式, 0代表协作模式, 只接收映射;
6  <entry flowid="0" outport="4"/> <!-- 时间同步响应报文的转发表配置-->
7  <entry flowid="1" outport="8"/> <!-- 网卡3配置报文的转发表配置 -->
8  <entry flowid="2" outport="256"/> <!-- 交换机2配置报文的转发表配置 -->
9  <entry flowid="3" outport="2"/> <!-- 交换机1配置报文的转发表配置 -->
10 <entry flowid="4" outport="2"/> <!-- 网卡1配置报文的转发表配置 -->
11 <entry flowid="5" outport="2"/> <!-- 网卡2配置报文的转发表配置 -->
12 </node>
13
14 <node imac="1" port_mode="240"> <!-- port_mode使用bitmap的形式, 0代表协作模式, 只接收
15 </node>
16 <node imac="3" port_mode="0">
17 <entry flowid="0" outport="1"/> <!-- 时间同步响应报文的转发表配置-->
18 <entry flowid="1" outport="1"/> <!-- 网卡3配置报文的转发表配置 -->
19 <entry flowid="2" outport="1"/> <!-- 交换机2配置报文的转发表配置 -->
20 <entry flowid="3" outport="256"/> <!-- 交换机1配置报文的转发表配置 -->
21 <entry flowid="4" outport="4"/> <!-- 网卡1配置报文的转发表配置 -->
22 <entry flowid="5" outport="8"/> <!-- 网卡2配置报文的转发表配置 -->
23 </node>
24
25 <node imac="4" port_mode="240">
26 </node>
27
28 <node imac="5" port_mode="240">
29 </node>
30 </nodes>
31

```

图 4-1 组网的初始配置

## 4.1. 时间同步精度测试

### 4.1.1. 预期结果

以 TSN 交换机 2 为主时钟节点，TSN 交换机 1、TSN 网卡 1/2/3 作为从时钟节点的树型拓扑，进行时间同步精度测试，测试过程中记录并打印 4 个从节点的 offset 值。在运行时间同步进程后，在集中控制器的终端界面上会将同步节点实时上报的同步信息参数 offset 值显示打印，并且 offset 参数值应保持在在 50ns 以内。

### 4.1.2. 参数配置

时间同步精度测试的关键表项配置在于时间同步报文的转发配置，集中式控制器下发的 sync 报文 flowid 为 4096，TSN 交换机 2 中输出端口配置的值 266，代表向网口 1、3 送到各个节点；TSN 交换机 1 中输出端口配置的值 268，代表向网口 2、3 送到各个节点；flowid 为 0 的报文是时间同步响应报文，各个节点的响应报文经 2 号网口输送给集中控制器，交换机和网卡其余配置详见表 4-1。

表 4-1 时间同步精度测试配置表项

TSN 交换机 1 配置		
转发表 forward_table		
	Flow_id	Outport
时间同步报文	4096	268
时间同步响应报文	0	4
寄存器 register		
	名称	数值
端口类型	port_mode	0
时间槽	time_slot	32

注入周期	inject_slot_period	4
调度机制	qbv_or_qch	0
RC 流量阈值	rc_regulation_value	128
BE 流量阈值	be_regulation_value	256
未经映射流量阈值	unmap_regulation_value	128
TSN 交换机 2 配置		
转发表 forward_table		
	Flow_id	Outport
时间同步报文	4096	266
时间同步响应报文	0	4
寄存器 register		
	名称	数值
端口类型	port_mode	0
时间槽	time_slot	32
注入周期	inject_slot_period	4
调度机制	qbv_or_qch	0
RC 流量阈值	rc_regulation_value	128
BE 流量阈值	be_regulation_value	256
未经映射流量阈值	unmap_regulation_value	128
TSN 网卡 (3 个) 配置		
寄存器 register		
	名称	数值
端口类型	port_mode	240
时间槽	time_slot	32
注入周期	inject_slot_period	4
提交周期	submit_slot_period	4
RC 流量阈值	rc_regulation_value	128
BE 流量阈值	be_regulation_value	256
未经映射流量阈值	unmap_regulation_value	128
注入 inject_table		
	时间槽	注入地址
1	time_slot="0"	inject_addr="1"
2	time_slot="1"	inject_addr="2"
提交 submit_table		

	时间槽	注入地址
1	time_slot="0"	submit_addr="1"
2	time_slot="1"	submit_addr="2"

#### 4.1.3. 操作步骤

时间同步精度测试的具体操作步骤如下:

- 1) 搭建好组网拓扑环境，按照表 2-1 配置好终端设备；
- 2) 根据图 4-1 和表 4-1 配置好表项；
- 3) 在集中控制器终端的操作系统中，在 linux 界面利用命令获取 root 权限（命令 “sudo su”，回车后输入密码 “123123”），再编辑命令进入到集中式控制器软件配置文件目录下（例如存放路径 “桌面/cnc\_ctrl/net\_init”），然后在目录下运行命令 “./init enp3s0”（enp3s0 是表示网络接口名称，不同的控制器接口名称不一致）进行网络配置，当查看到 cfg\_finish 并且网络节点的网口闪烁时，表示网络配置成功；
- 4) 网络配置成功后，切到目录如 “/桌面/cnc\_ctrl/cnc\_ptp”，运行命令 “./cnc\_ptp enp3s0”，启动时间同步；
- 5) 然后打开 TSN insight 界面展示软件，待时间同步运行稳定后即可在终端查看 offset 参数值的情况（同样可以使用示波器观察时间同步脉冲信号）。

#### 4.1.4. 测试结果

打印界面的 offset 值能够稳定在 0--6 之间变化，即在 50ns 的精

度范围内，符合预期。

## 4.2. 时间敏感流量的确定性传输测试

### 4.2.1. 预期结果

在 qbv 的调度机制下，利用 TSN 测试仪构造 3 条字节长度 64B、带宽 100Mbps 的流量，经过 TSN 网络转发后，在 TSN 测试仪接收端接收到的混合流量的时延波动小，并且流量不存在丢包。

### 4.2.2. 参数配置

时间敏感流量的确定性传输测试的关键表项配置在于转发表和门控表，交换机详细配置详见 4-2。

表 4-2 混合流量测试配置表项

TSN 交换机 1 配置		
转发表 forward_table		
	Flow_id	Outport
100M 的 ST 流量	11	2
100M 的 RC 流量	12	2
100M 的 BE 流量	13	2
TSN 交换机 2 配置		
转发表 forward_table		
	Flow_id	Outport
100M 的 ST 流量	11	2
100M 的 RC 流量	12	2
100M 的 BE 流量	13	2

```

</node>
<node imac="3"> <!-- TSN交换机1 -->
<gate_table id="0">
<entry time_slot="0" state="255"/> <!-- state
<entry time_slot="1" state="255"/>
<entry time_slot="2" state="255"/>
<entry time_slot="3" state="255"/>
</gate_table>

<gate_table id="1">
<entry time_slot="0" state="255"/>
<entry time_slot="1" state="255"/>
<entry time_slot="2" state="255"/>
<entry time_slot="3" state="255"/>
</gate_table>

<gate_table id="2">
<entry time_slot="0" state="255"/>
<entry time_slot="1" state="255"/>
<entry time_slot="2" state="255"/>
<entry time_slot="3" state="255"/>
</gate_table>

<gate_table id="3">
<entry time_slot="0" state="255"/>
<entry time_slot="1" state="255"/>
<entry time_slot="2" state="255"/>
<entry time_slot="3" state="255"/>
</gate_table>

```

图 4-3 TSN 交换机 1 门控表配置

```

<nodes>
<node imac="2"> <!-- TSN交换机2 -->
<gate_table id="0">
<entry time_slot="0" state="255"/> <!-- s
<entry time_slot="1" state="255"/>
<entry time_slot="2" state="255"/>
<entry time_slot="3" state="255"/>
</gate_table>

<gate_table id="1">
<entry time_slot="0" state="255"/>
<entry time_slot="1" state="255"/>
<entry time_slot="2" state="255"/>
<entry time_slot="3" state="255"/>
</gate_table>

<gate_table id="2">
<entry time_slot="0" state="255"/>
<entry time_slot="1" state="255"/>
<entry time_slot="2" state="255"/>
<entry time_slot="3" state="255"/>
</gate_table>

<gate_table id="3">
<entry time_slot="0" state="255"/>
<entry time_slot="1" state="255"/>
<entry time_slot="2" state="255"/>
<entry time_slot="3" state="255"/>
</gate_table>

```

图 4-4 TSN 交换机 2 门控表配置

### 4.2.3. 操作步骤

时间敏感流量的确定性传输测试的具体操作步骤如下:

- 1) 搭建好组网拓扑环境，按照表 2-1 配置好终端设备；
- 2) 根据图 4-3、图 4-4 和表 4-2 配置好表项；
- 3) 在集中控制器终端的操作系统中，在 linux 界面利用命令获取 root 权限（命令 “sudo su”，回车后输入密码“123123”），再编辑命令进入到集中式控制器软件配置文件目录下（例如存放路径“桌面/cnc\_ctrl/net\_init”），然后在目录下运行命令“./init enp3s0”（enp3s0 是表示网络接口名称，不同的控制器接口名称不一致）进行网络配置，当查看到 cfg\_finish 并且网络节点的网口闪烁时，表示网络配置成功；
- 4) 网络配置成功后，在 TSN 测试仪控制器界面，直接配置并发送映射好的 3 条各 100M 的混合流量，配置试例见图 4-5、图 4-6，点击开始测试；

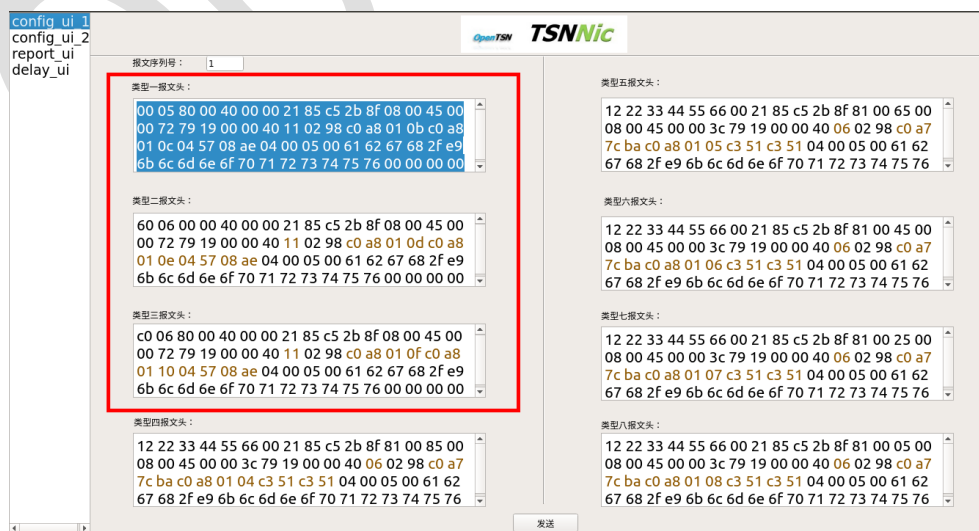


图 4-5 TSN 测试仪配置界面 1





图 4-6 TSN 测试仪配置界面 2

5) TSN 测试仪测试一段时间后，点击停止测试，即可在 TSN 测试仪控制器界面查看流量的时延抖动及丢包情况。

#### 4.2.4. 测试结果

经过网络传输，时延情况未见异常，流量的丢包个数为 0，测试结果符合预期。

#### 4.3. 摄像头视频流量点到多点的传输测试

##### 4.3.1. 预期结果

摄像头采集的实时监控画面经过网络处理后，在摄像头接收端 1/2 可以实时播放监控画面，并且画面应清晰、流畅。

##### 4.3.2. 参数配置

摄像头实时监控视频流量测试的表项配置在于视频流量的映射和重映射，交换机详细配置详见表 4-3，网卡映射表和重映射表配置见图 4-7、图 4-8。

表 4-3 摄像头实时监控视频流量测试配置表项

TSN 交换机 1 配置		
转发表 forward_table		
	Flow_id	Output
	8	1
	9	12（组播）
TSN 交换机 2 配置		
转发表 forward_table		
	Flow_id	Output
	8	8
	9	2

```
<entry id="1">
  <flow_id>8</flow_id>
  <dmac>bc:ba:c2:f3:f7:08</dmac>  <!-- 摄像头的MAC地址-->
  <outport>8</outport>
</entry>
</remap_table>
```

图 4-7 TSN 网卡 3 配置

```
<remap_table>
  <entry id="0">
    <flow_id>9</flow_id>
    <dmac>c0:04:80:00:00:00</dmac>  <!-- 摄像头接收端的MAC地址-->
    <outport>8</outport>
  </entry>
</remap_table>
```

图 4-8 TSN 网卡 1、TSN 网卡 2 配置

#### 4.3.3. 操作步骤

摄像头视频流量测试的具体操作步骤如下：

- 1) 搭建好组网拓扑环境，按照表 2-1 配置好终端设备；
- 2) 根据图 4-7（在 XML 文本“offline\_plan.xml”中，按实际接入网络的摄像头的 MAC 进行修改）、图 4-8 和表 4-3 配置好表项；
- 3) 在集中控制器终端的操作系统中，在 linux 界面利用命令获取 root 权限（命令“sudo su”，回车后输入密码“123123”），

再编辑命令进入到集中式控制器软件配置文件目录下（例如存放路径“桌面/cnc\_ctrl/net\_init”），然后在目录下运行命令“./init enp3s0”（enp3s0 是表示网络接口名称，不同的控制器接口名称不一致）进行网络配置，当查看到 cfm\_finish 并且网络节点的网口闪烁时，表示网络配置成功；

- 4) 网络配置成功后，切到目录“/桌面/cnc\_ctrl/arp”，运行命令“./arp\_proxy enp3s0”，启动 ARP 代理；
- 5) 启动摄像头，在摄像头接收端 1/2 运行“ivms-4200 客户端”，将摄像头设备添加到客户端中，点击播放监控画面，如没有实时画面，请刷新设备；
- 6) 当实时监控画面正常播放时，运行一段时间，观察视频画面是否清晰、流畅。

#### 4.3.4. 测试结果

摄像头实时监控视频流量经过网络处理，摄像头接收端接收实时显示画面，测试 60 分钟过程中，摄像头接收端接收到的实时监控画面一直处于清晰、流畅状态，符合预期。

#### 4.4.4.4. VLC 视频流量多点到点的传输测试

##### 4.4.1. 预期结果

通过 vlc 视频发送端 1/2 进行视频流量推流，流量经过网络处理后，在 vlc 视频接收端可以同步播放视频画面，并且画面应清晰、流

畅。

4.4.2. 参数配置

VLC 视频流量测试的表项配置在于视频流量的映射及重映射，交换机详细配置详见表 4-4，网卡映射表和重映射表配置见图 4-9、图 4-10。

表 4-4 摄像头实时监控视频流量测试配置表项

TSN 交换机 1 配置		
转发表 forward_table		
	Flow_id	Outport
	21	1
	22	1
TSN 交换机 2 配置		
转发表 forward_table		
	Flow_id	Outport
	20	256
	21	8
	22	8

```
<entry id="0">
<flow_id>9</flow_id>
<dmac>c0:04:80:00:00:00</dmac>  <!--摄像头接收端的DMAC-->
<outport>8</outport>
</entry>
```

图 4-9 TSN 网卡 3 配置

```
<entry id="3">
<flow_id>22</flow_id>
<dmac>e8:6a:64:c4:96:ff</dmac>  <!--vlc接收端的DMAC-->
<outport>0</outport>
</entry>
<entry id="4">
<flow_id>4308</flow_id>
<dmac>e8:6a:64:c4:96:ff</dmac>  <!--vlc接收端的DMAC-->
<outport>0</outport>
</entry>
```

图 4-10 TSN 网卡 1 、TSN 网卡 2 配置

#### 4.4.3. 操作步骤

Vlc 视频流量测试的具体操作步骤如下：

- 1) 搭建好组网拓扑环境，按照表 2-1 配置好终端设备；
- 2) 根据图 4-9、图 4-10 和表 4-4 配置好表项；
- 3) 在集中控制器终端的操作系统中，在 linux 界面利用命令获取 root 权限（命令 “sudo su”，回车后输入密码“123123”），再编辑命令进入到集中式控制器软件配置文件目录下（例如存放路径“桌面/cnc\_ctrl/net\_init”），然后在目录下运行命令“./init enp3s0”（enp3s0 是表示网络接口名称，不同的控制器接口名称不一致）进行网络配置，当查看到 cfg\_finish 并且网络节点的网口闪烁时，表示网络配置成功；
- 4) 网络配置成功后，切到目录“桌面/cnc\_ctrl/arp”，运行命令“./arp\_proxy enp3s0”，启动 ARP 代理；
- 5) 在 vlc 视频发送端 1/2 运行 vlc 软件，打开相应视频，选择串流模式进行推流；
- 6) 在 vlc 视频接收端，打开 VLC 软件，进行相应配置后同时播放两个发送端发送的视频；
- 7) 当视频画面正常播放时，运行一段时间，观察视频画面是否清晰、流畅。

#### 4.4.4. 测试结果

vlc 视频流量经发送端 1、2 推出后，经过网络处理，在 vlc 流量

接收端接收 vlc 视频流量，测试 60 分钟过程中，接收端接收到的视频画面一直处于清晰、流畅状态，较发送端视频播放有些许延时，符合预期。